

现代折纸科学展览的两重视角

——“纸来折往”综合性跨学科专题展的设计开发^①

刘鹏飞 傅 骞^②

【摘要】现代折纸丰硕的发展成果是设计开发“纸来折往”现代折纸科学展的基础。本展览从认识现代折纸的两重视角出发,设计“折纸历史”“纸于现代”“纸向未来”三大主题,“纸于现代”包括“纸间数学”“纸间纵横”“纸上工程”“纸间指趣”四个模块。展览旨在通过丰富的展品与展示方式,从不同的学科视角展示与解读现代折纸,加强观众的认识与感悟,让观众发生从“折纸是一种艺术”到“纸是载体,折是本质”的认知转变。

【关键词】科学普及;现代折纸;跨学科;展览设计

折纸是一项老少咸宜的手工艺艺术,这是大部分人对折纸的认识。然而拨开折纸的艺术表象,越来越多的数学家、科学家和工程师揭秘了折纸在数学、科学、工程、技术等更多学科领域的内涵与应用。当折纸图解术语跨越语言障碍在世界范围传播时,当从折纸中抽离出折叠的本质并用于结构设计时,折纸便从传统步入到现代的崭新发展阶段。近些年来,现代折纸在一群有共同爱好的各领域专业人才的努力下取得了丰硕的成果,如何将这些成果展示给更多的人,让公众共赏并共享现代折纸的发展成就,也成为现代折纸推动者思考的问题。出于创新科普展览内容、向公众科普现代折纸新发展的目的,笔者设计了“纸来折往”之现代折纸科学展,其精华内容于2021年初作为“中

国手工造纸的技·艺”展览中的“纸来折往”展区在中国科技馆展出。

一、研究背景

(一) 学科整合成为设计科技馆专题展的重要理念

传统科普展览基于学科门类划分,而现代的科学展览更重视主题线或者故事线,并据此汇集相关多个学科进行设计与展示^[1]。专题展是科技馆科普教育最重要的形式之一,具有主题特色鲜明、内容独立聚焦、规模短小概要、传播时效较好等特点。围绕展览主题,从不同的学科视角进行解读和设计,成为展览设计的重要方式。综合性专题展在支持跨学科学习方面 also 具有重要意义。

① 基金项目:本展览设计得到中国科学技术馆科研项目“‘纸来折往’之现代折纸科学展巡回展览设计”资助。

② 刘鹏飞:北京师范大学教育学部科研助理;研究方向:STEM教育、科学教育;通讯地址:北京市海淀区新街口外大街19号北京师范大学;邮编:100875;Email:pengfei-Liu@bnu.edu.cn;

傅 骞:北京师范大学教育学部副教授;研究方向:创客教育、信息技术教育应用;Email:fredqian@bnu.edu.cn。

引用格式:刘鹏飞,傅骞.现代折纸科学展览的两重视角——“纸来折往”综合性跨学科专题展的设计开发[J].自然科学博物馆研究,2021(4):71-78.[Liu Pengfei, Fu Qian. The Perception of Modern Origami Exhibition from a Dual Perspective——Taking an Example of the Design and Development for an Integrated Temporary Exhibition Named *Folding Happens to Paper*[J]. Journal of Natural Science Museum Research, 2021(4): 71-78.].DOI:10.19628/j.cnki.jnsmr.2021.04.010

（二）现代折纸的创新发展具有巨大的科普价值

折纸是一项为人熟知的手工活动，而现代折纸却是一门较为小众的交叉学科，涵盖了数学、结构力学、计算机科学等基础学科与应用学科，在航空航天工程、医学工程、包装工程、建筑工程、机器人等多个领域具有很多突破性创新应用。因此，向公众普及现代折纸的科学内涵和科技应用，不仅能让公众感知现代折纸的神奇与强大，而且能借助折纸，激发公众对“小材大用”的创新感悟。

二、文献综述

（一）现代折纸在不同学科领域的发展

1. 由传统折纸到现代折纸

造纸术是我国的四大发明之一，而纸是折纸的基本物质载体。盛唐时期，佛教僧人东渡日本时带去了很多纸，折纸成为日本礼仪中的一部分；后来纸成为廉价商品以后，折纸流传到日本社会的各个阶层。唐代，我国造纸技术传入阿拉伯国家，折纸开始在阿拉伯国家发展起来，并产生了几何原理与折纸的最初结合。一些研究折纸历史的专家认为，早期折纸在东西方国家是独立发展的，折纸在世界各地是深受人们喜爱的一项手工活动。

传统折纸的一个主要用途是用于祭祀活动或寄托情思，例如折纸元宝、方鼎、宝塔、官帽、千纸鹤等；另外传统折纸也具备一定的礼仪性和审美性，例如日本婚礼附在清酒上的折纸蝴蝶、用折纸作为礼品的精美包装等。传统折纸一般来说是一种简单的抽象艺术表现形式。

被称为“现代折纸之父”的日本折纸艺术大师吉泽章的出现，成为折纸进入现代时期并出现东西方共同发展与交流对话的重大契机。吉泽章从20世纪50年代开始收集整理折纸模型，并与美国的萨姆·兰德利特（Sam Randlett）一起发展了一套国际通用的折纸图解术语，突破了语言文字的传播障碍，促进了折纸在世界

范围内的发展交流。

2. 现代折纸的跨学科发展

狭义上的现代折纸是一种变形艺术，即从一张方形纸开始折叠，不能对纸张进行裁切，也不可以使用胶水、胶带和剪刀等工具，从而完成作品的塑造。而广义上的现代折纸对纸张选择、折叠技术等具有很强的宽容度。

从学科融合的角度，现代折纸在科学、技术、工程、数学等领域均有重要体现。例如在折纸与数学的交叉研究领域，既产生了诸如折纸几何公理、芳贺定理、平折可折性等成果，同时在促进平面几何和立体几何学习中也发挥了促进作用。另外，折纸已经被证明在众多领域中的工程和设计应用中是一种有效的工具^[2]。德迈因（Demaine）指出，现代折纸科学研究的几何对象一般包括三个层面：连杆、纸片和多面体^[3]。在纸张上进行某种折痕设计，会产生特定的变形效果；创新的折痕设计会产生丰富的折叠结构，例如典型的三浦结构、水雷结构、吉村结构等，这些结构可广泛用于折叠产品设计中^[4]。应用在航空航天领域的各种自旋展开式折叠太阳帆，应用在医学领域的具有负泊松比变形的三浦结构心脏血管支架，解决地图挤压破损问题的三浦折叠地图，可压缩的纸管结构，变形机构超材料，变化延续的折叠建筑空间等，这些都是典型的折纸工程学应用。尤其对结构工程而言，折纸通常可以被看作提供灵感来源。

折纸在工程技术创新应用上取得了丰硕成果，而科技发展也反向促进了折纸的现代化发展，用计算机辅助折纸设计就是有力说明。现代折纸是一个名副其实的跨学科秀场。

（二）折纸在国内外科普场馆中的教育实践

1. 折纸在国内外科普场馆中的教育实践

研究表明，折纸对于发展人的空间思维能力、创新精神、手脑协调能力、专注力、艺术审美等具有促进作用，而且有助于提高数学成绩^[6]。在国外，折纸在很多科普场馆中是极受

欢迎的教育活动，如 2018 年美国俄克拉荷马科学博物馆举办了“进入折叠：折纸的艺术与科学”展览，展示了折纸在机器人、建筑空间、太空探索、时尚设计等领域的独特应用；美国加州探索馆（Exploratorium）开设了戴维斯折纸俱乐部，实践和探讨折纸的技法及与之相关的数学与交叉学科；美国舰队科学中心的“创客工作坊（tinker studio）”举办的 STEAM 活动中非常重要的活动材料就是纸张，包括对纸张材料的挑战，以及受折纸、剪纸启发而开展的纸雕艺术活动；一些国家设有专门的折纸博物馆、折纸讲习所和折纸协会，共同交流折纸技能和促进折纸的发展。

2. 折纸在我国科技馆中的教育实践

在我国，很多科技馆会将折纸作为动手操作活动展开，也会邀请馆外折纸高手或机构举办折纸展览。重庆科技馆联合西南大学折纸与数学思维实验室举办了“纸间数学”折纸作品展，从折纸与数学、折纸与数学教育、折纸与艺术等方面介绍折纸；厦门科技馆联合“叹为观止”工作室举办了大型折纸展——“叹为观止”，公众可以在现场参观精妙的折纸艺术品并体验折纸活动；上海科技馆联合上海叠纸教育数学研究会举办了“2014 春节黄金周折纸大赛”；中国科技馆联合波音公司举办了以“放飞梦想”为主题的纸飞机比赛；台湾大学动物博物馆将折纸作为一种再现古生物的手段，开设折纸专栏和“专业生物折纸工作坊”，用折纸的形式生动形象地学习生物科学；台湾奇美博物馆在 2016 年推出“纸上奇迹”折纸特展后引起强烈反响，2020 年又策划了“纸上奇迹 2——无所不弹”。可见，折纸作为一种新颖的展览主题和展览形式越发受到科普场馆的青睐，不过我国在折纸展览的作品深度和展示形式方面还有待加强。

三、展览主题与内容的选择

（一）展览主题的确定

展览调研的结果充分表明了科普现代折纸的

重要性与可行性。现代折纸是一个以设计与应用为特色的新兴跨学科领域，缺乏明确的科学知识体系和发展脉络，因此笔者在确定主题时选择“由现象揭示本质”的方法，以折纸中的“折”为切入点，将展览标题确定为“纸来折往”，由此揭示本次展览的主题，即“从科技视角审视现代折纸的折叠本质”。一般来说，观众会从艺术审美的视角观看该展览，而如何引导观众从科技应用的视角去思考和发现“纸是载体，折是本质”，并体会折叠在不同学科领域的应用，将是本展览重点要考虑的问题。

确定展览主题之后，开始设计本展览的框架模式。主题展览常用的五种框架模式包括逻辑发展式、故事展开式、历史发展式、趣味集合式和要素展开式^[7]，根据现代折纸本身的特点，本展览采用了历史发展式与要素展开式相结合的方式。以宽泛的历史发展阶段为线索，将展览内容划分为三个子主题，依次是“折纸历史”“纸于现代”“纸向未来”；“纸于现代”是本展览的主体部分，根据数学、技术、工程、设计等不同的核心要素，分为“纸间数学”“纸间纵横”“纸上谈工”“纸间指趣”四个模块。

（二）展示内容的确定

基于确定的展览主题与子主题，进行展品内容的选择和形式的确定。

“折纸历史”主题体现的是折纸由传统折纸向现代折纸演变的过程，其设计经历了从简单到繁复的过程，因此展品尽量选取具有代表性的作品，例如传统的千纸鹤、元宝、油纸伞、周氏针线包等，这些作品突出体现了早期人们通过折纸寄托情思、娱乐生活的特点，并有少量简单的生活实用物品；现代折纸作品以具象动物折叠为主，例如恐龙、独角兽、犀牛等，这些作品主要体现折纸的设计性、复杂性和具象性，还没有涉及科学原理和实际应用的部分。本部分以兴趣吸引为主，让观众直接看到折纸的艺术之美。

“纸于现代”主题着眼于现代折纸在不同领

域的发展,展品设计更加丰富与聚焦,引领观众由看展的艺术审美视角转为科技应用视角,扭转观众对现代折纸的认知。

在“纸于现代”包含的四个模块中,“纸间数学”是现代折纸的理论基础篇,展品以静态实物展品、互动展品和演示动画组成(见图1)。静态实物展品以各种数学模型为主,立体折叠模型包括:柏拉图多面体、阿基米德多面体、巴基球、孔明锁、埃舍尔多面体、可变构型多面体等;平折作品包括:双色棋盘、谢尔宾斯

基三角形、六边形雪花、分形紫荆花等;以及可以实现平折到立体变形的花塔等。互动展品,如扭转变形的马鞍面和用于探究平折多种可能性的一阶方格扭转,可以直接让观众动手操作并开展探究。与折纸相关的数学定理或问题解决方案,例如折纸几何公理、前川定理、川崎定理、三等分锐角等,通过动画演示的方式直观呈现。折纸与数学“互相成就,共同发展”,这也成为现代折纸在其他学科领域得以取得发展的理论基础。

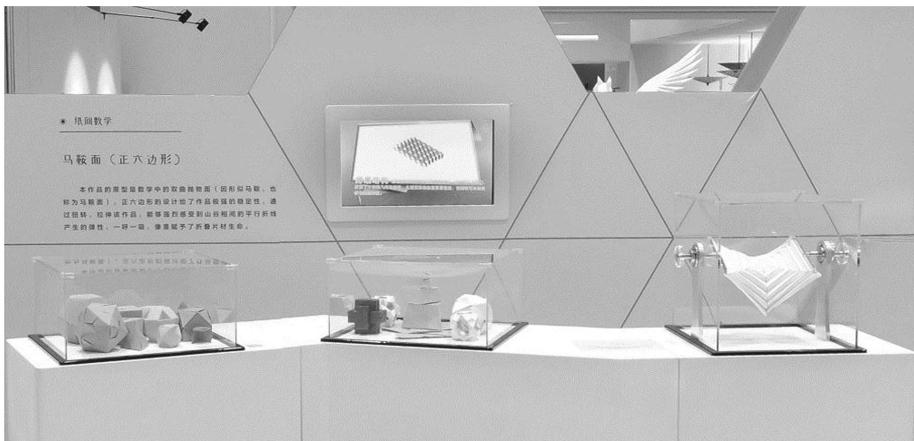


图1 “纸间数学”部分展品

“纸间纵横”是现代折纸的设计基础篇。展品从基础的折痕设计出发,通过在一张纸上进行平行褶、V型褶、X型褶等山谷线有序的分布设计,让观众感受纵横交错的折痕分布改变

了纸张的原始状态,使一张平坦的纸张在形态上发生了有趣的变化,使纸张产生了生命张力,即“折叠改变了纸张的形态”。该模块下的展品包括静态实物展品(见图2)和演示动画。



图2 “纸间纵横”部分静态实物展品

“纸上谈工”是现代折纸的核心展示篇,也是最能颠覆人们对折纸的认知的部分。该模

块的展品以工程设计与应用为导向,将“纸间纵横”中涉及的折痕类型进行再设计,通过应

用三浦结构、水雷结构、蜂巢结构等折叠结构，设计或还原折叠态的建筑空间、心脏血管支架、旋转折叠太阳帆等应用实例，并展示大量日常生活中的折叠应用实例，让人们意识到折叠无处不在而且功能强大（见图3）。该模块的展品主要以静态实物展品与互动展品的方式呈现。“纸上谈工”可以说是对“纸间纵横”的具体化与延伸，折叠的载体由“纸张”过渡到“片材”，折叠的规模由小变大，由“独立成型”变为“组合成型”，由“通用型”的折痕设计变为“适应某种应用场景”的实物模型，由此将“折叠”这一概念进一步提炼，加深观众对折叠的设计性与实用性的认识。



图3 水雷结构——有魔力的变形球与折叠态的走廊空间

“纸间指趣”是现代折纸的体验交互篇。展品以趣味性、互动性为主，通过折纸无限翻、拓扑方块、七巧板等折纸作品的设计，让观众在体验折纸乐趣的同时，发现折叠中蕴含的知识与技巧。

“纸向未来”其实是一种留白的设计，由一个具有折叠元素特征的走廊构筑从“纸于现代”到“纸向未来”的过渡空间，能够让观众回顾折纸从传统到现代的发展历程，畅想未来的发展方向，然后回到现实空间，延续展览带来的思考和感动。

以上各个主题的确立，是在搭建一座从“传统折纸”到“现代折纸”的桥梁，也是搭建

一座从“折纸是艺术”到“纸是载体，折是本质”的桥梁，希望能够让观众领悟到：看似从艺术中发芽的折纸，根深深地扎在数学里，在科学、技术、工程等分支上开满了花朵。

四、展品设计技术路线

展品设计技术路线由展览主题、展示手段、实现方式、材料保证和展陈空间五部分组成（见图4），其中核心部分是实现方式。

（一）展示手段

传统折纸展览多采用静态实物展的形式，而本展览采用静态展示与动态演示相结合的方式，静态展示包括静态实物展示（即折纸作品）和图文展板，动态演示包括动画演示和互动体验，将多媒体技术应用其中，丰富展览的表现形式，使参观者从多通道接收信息，减轻认知负荷^[8]，更加形象地理解展品的科学原理和相关应用，产生学习的爱好与兴趣，激发积极参与的欲望。

（二）实现方式

根据展览主题和展示手段，实现方式主要分为平面设计、手工折制、数字化制图和动画设计四类。

1. 平面设计

平面设计主要是指图文展板的设计与排版。展板设计包括“折纸历史”“纸间数学”“纸上工程”“折叠与自然”“折叠与生活”等不同的内容，通过图文并茂的方式，向观众科普现代折纸的发展，令其从宏观上建立理性认识。

2. 手工折制

手工折制主要用于制作小型的或者操作比较复杂的作品，以及经过软件制图打印后的大型作品。折纸是典型的手工艺艺术，通过手工折制，更能感受操作的程序性，设计的巧妙性，以及感受科技与艺术的双重震撼。手工折制是最直接也是最常用的实现方式。

3. 数字化制图

数字化制图是一种更加标准化的实现方式，其理论基础是折纸数学以及折纸设计基本理

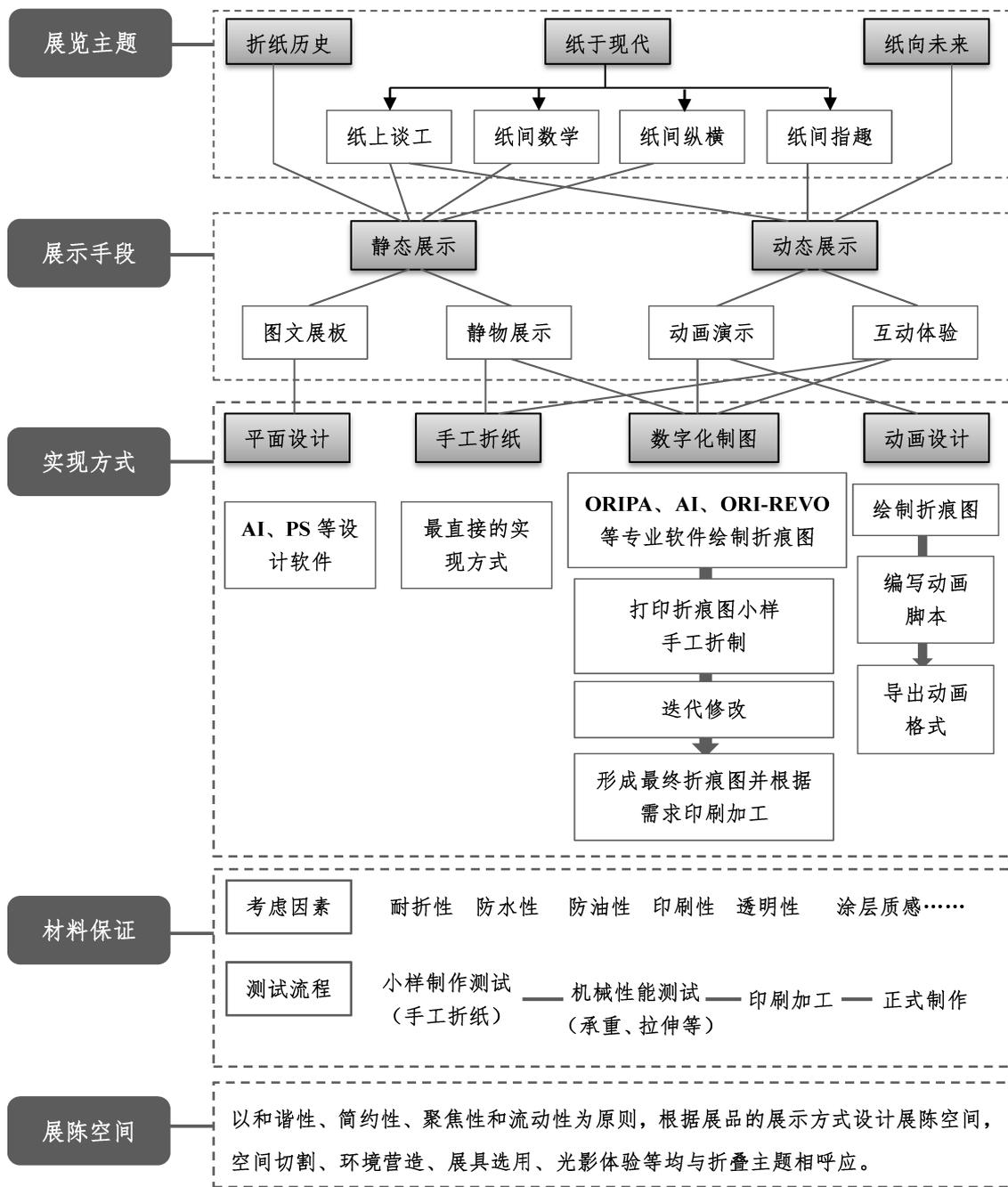


图4 展品设计技术路线

论，例如折痕图中点线面的绘制、平折结构的绘制需要满足前川定理和川崎定理等。在理解基本理论的基础上，运用软件绘制折痕图。折纸设计软件虽然有多种，但各有优势，例如ORIPA适合绘制基于正方形的折痕图，ORI-RIVO适合绘制具有对称性或平移性的立体模型的折痕图，对于利用非常规纸张设计的折叠，可以利用 Adobe Illustrator 绘制折痕图。数字化制

图将设计方案标准化、数字化，为精准的印刷加工提供了保障，保证了手工折制的准确性，提高了展品复制的可行性。数字化制图也是定制大型折制展品的基础。

4. 动画设计

动画设计是对数字化制图的进一步加工处理，它将静态的折痕图转化为动态可感的折叠过程，可以让人们更加直接地观赏折叠运动，

从而增强感官体验。对于大量重复性的密铺折叠，由于折叠片材加工方式以及尺寸的局限性，通过动画演示其折叠效果是一种更有效的形式

(见图5)，而且能够加强对“折是本质”这一观点的认识。

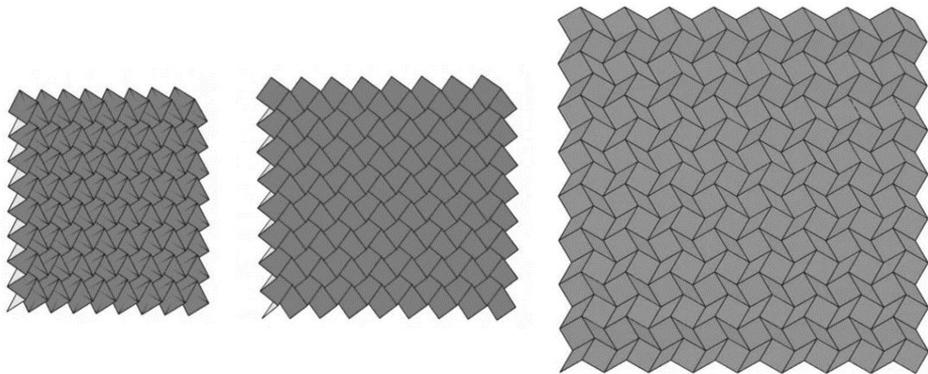


图5 动画演示重复性的密铺折叠过程

(三) 材料保证

折叠材料的选择是一项基础工作，也是保证展品可收纳、运输、重复使用的保障，材料测试的流程是：小样品手工折制——承重、拉伸等机械性能的测试——印刷加工——正式折制。通过测试，发现牛皮纸和杜邦纸具有较好的机械性能和印刷性能，所以在大型展品制作中多选用这两种纸张。

(四) 展陈空间

展陈空间的设计遵从和谐性、简约性、聚焦性和流动性的原则。和谐性是优先考虑的设计原则，在展陈时，充分应用折叠元素，例如风琴墙面、风琴长凳和折叠空间走廊，来灵活分割空间，将展具化身成展品，将折叠的内核渗透于展览设计的方方面面，力求做到展示空间、展具和展品之间的和谐，这也是对展览主题“折叠是本质”的外在强化。空间切割和展具选用也同时可以体现展示风格的简约而不简单。对于具有代表性的、要强化展示的展品，设计成可互动的大型展品，并配合光电效果，使其能够优先吸引观众的目光，达到聚焦的目的，例如可变形的水雷结构、光影走廊等。根据展览自身的内在结构，以及考虑到观众的兴趣、动机等心理需求，合理安排观展动线，让观众在视觉吸引、趣味体验、知识探究、应用解密、

未来展望等不同的层次沉浸在展览中。

五、总结与反思

“纸来折往”现代折纸科学展是丰富科技馆综合性跨学科专题展览的一次创新尝试，也是对现代折纸进行科普展示的一场有益探索。虽然在实际布展时，因场地空间所限，未能完整展示全部的策展方案，不过展览呈现的内容也受到了公众广泛的认可，基本可以实现让观众从两个不同的视角去认识现代折纸。更进一步讲，“折纸是一种艺术”的视角体现为艺术文化层面的认知，是对美的欣赏；“纸是载体，折是本质”的视角体现为科学社会层面的认知，是对科学、技术、实用与创新的追求。

(一) 优点与不足

本展览的优点可以总结为“小”“新”“巧”。第一，“切入点小”，以“折纸”为切入点，再以小见大，从折纸延展开来，从艺术、数学、工程、技术等不同角度，引入与“折”相关的现象、原理与应用等，“麻雀虽小，五脏俱全”；第二，“立意新颖”，现代折纸的创新发展打破观众对折纸的传统认识，进而从全新的视角认识现代折纸，从认知和情感层面都能有所收获；第三，“展品精巧”，除了精美的艺术作品，展览还复制了很多设计巧妙的工程应用

作品,从而更加直观地体现现代折纸巨大的实用价值和发展潜力。

本展览的不足主要有以下四点。首先,缺乏明确的展览明线或暗线。现代折纸的历史发展线索不清晰,难以完全按照时间线铺展叙述,而且未形成逻辑性的知识架构,难以以知识为线索进行统整设计。其次,科普内容较为通识,缺乏广度和深度。现代折纸,尤其是在计算机支持下的折纸设计,是一门深奥的学问,而设计团队由于理解有限、经验不足,未能呈现更为精奥的内容。然后,展品在主题划分中存在分类交叉。折纸作品本身是一个隐性的跨学科设计成果,从不同的角度解读,会呈现出不同的关注重点,但分类不明容易引发观众的困惑。最后,展品设计的原创性有待进一步加强。展品复原了一些极具代表性的作品,应该加强对

作品的微创新与原始创新。

(二) 未来展望

现代折纸是一个有着蓬勃生机与旺盛发展力的新领域。未来的现代折纸科普展览,可以从不同的深度和广度进行挖掘,例如以计算机辅助设计为导向的折纸设计展览、以现代工业设计为导向的折纸模型展览、以折纸数学学为导向的折纸数学展、科学与艺术相结合的综合展览等。科普场馆与专业科研团队、专业折纸机构、折纸达人的结合,将赋予折纸展览更多的可能性;虚拟现实、动态交互、线上与线下相结合等多种技术的支持,也将给折纸展览在展示、体验、探究、互动以更多的赋能。相信未来我们会看到更多令人叹为观止的现代折纸展览。

参考文献

- [1] 杨冬梅. 浅谈科技馆教育形式的发展[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(23):147-148.
- [2] Gönenç Sorguç A., Hagiwara I., Arslan Selçuk S.. Origamics in Architecture: A Medium of Inquiry in for Design in Architecture[J]. Middle East Technical University Journal of the Faculty of Architecture, 2009, 26(2):235-247.
- [3] Demaine ED. Folding and unfolding linkages, paper, and polyhedral [C]//Akiyama J, Kano M, Urabe M, eds. Discrete and Computational Geometry, Japanese Conference on Discrete and Computational Geometry, Tokyo, 2000: 113-124.
- [4] 李笑, 李明. 折纸及其折痕设计研究综述[J]. 力学学报, 2018, 50(3):467-476.
- [5] Golan M. Origametrica and the van Hiele theory of teaching geometry [C]// Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education. AK Peters Limited. 2011:141-150.
- [6] Winckler M, Wolf K, Bock H. Hands-On Geometry with Origami [C]// Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education. AK Peters Limited. 2011:219-231.
- [7] 王紫色. 展览主题与展览设计各项工作的关系——以“遇见更好的你”心理学专题展为例[J]. 自然科学博物馆研究, 2017, 2(4):21-31.
- [8] 段美琳, 郑霞. 基于认知负荷理论的博物馆陈列语言设计研究[J]. 自然科学博物馆研究, 2020, 5(5):40-46.

(编辑: 王青)